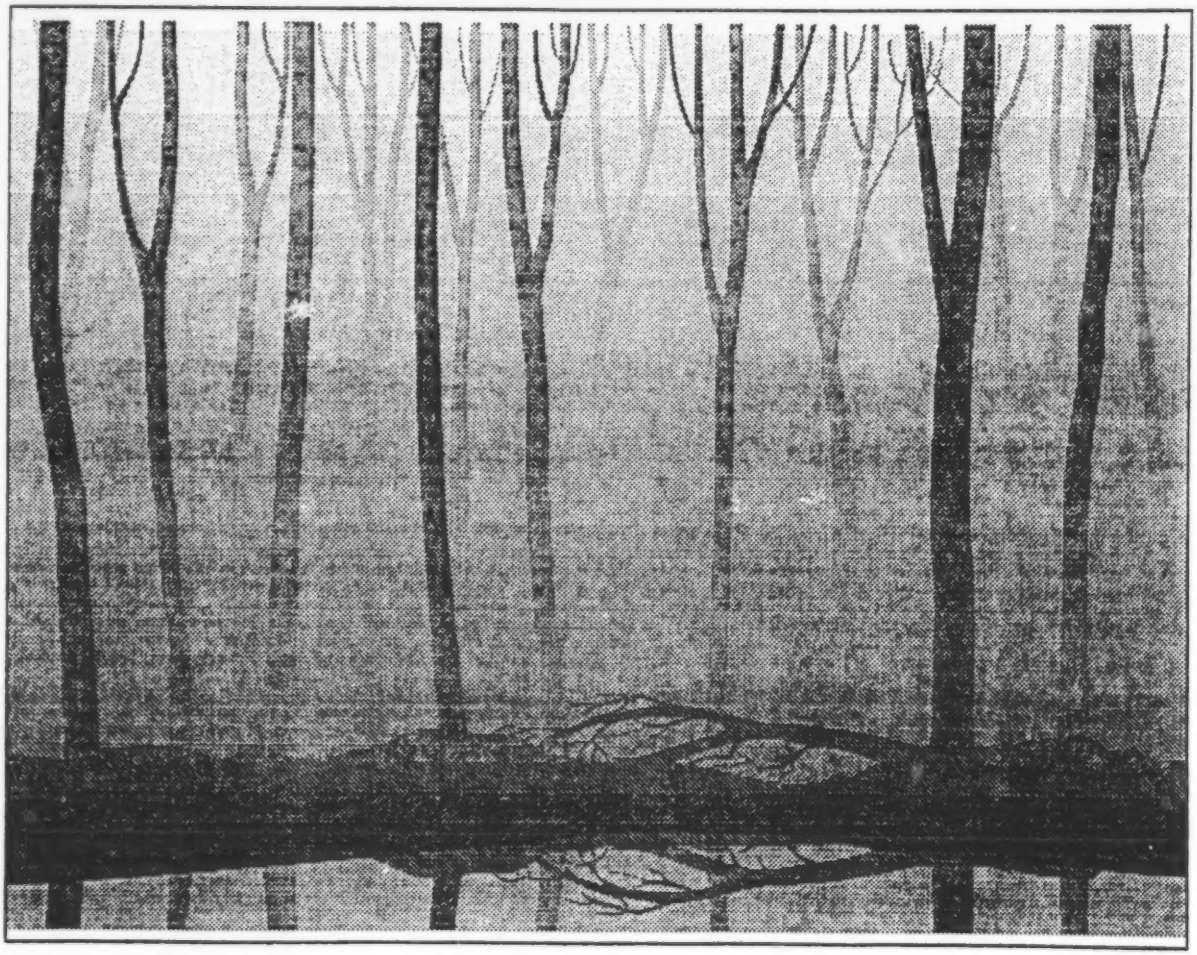
BIOTECHNOLOGY IN FORESTRY

An Analysis by Forestry Canada

for the

National Biotechnology Advisory Committee



Forestry Canada Forêts Canada

Canada

92-00011/

BACKGROUND AND ANALYSIS

I. Problems and opportunities in forest regeneration

In the upstream area of forest biotechnology, Canada has among the most advanced research programs in the world. In fact, in tissue culture, it is fair to say that there are no programs of comparable quality or impact in the world. (See below.) Tissue culture, and especially the new developments with conifers in somatic embryogenesis, has two extremely important roles to play in the overall strategy for improvement and conservation of forest trees through forest genetics programs.

Notable Accomplishments:

Event	Year	Credit
Embryogenesis	1985	Canada, Sweden
Cell Suspension	1988	Canada, Sweden
Cryopreservation	1988	Canada, U.S.A.
Protoplasts	1989	Canada
Planting	1989	Canada
Artificial Seeds	1990	Canada

Time lag in forest genetics: Impact of tissue cultures

In conventional forest tree improvement programs, commercial quantities of seed, from seed orchards, are usually not produced until about 25 years into a program for many northern conifers. Despite this time lag, the rewards from tree improvement are impressive. Gains in increased crop performance of 15-25% in the first generation is typical for most tree improvement programs.

In Canada, the single major limitation to exploiting these benefits for artificial reforestation programs has been the amount of time that it takes seed orchards to reach sexual maturity. A second problem, that of concern over our ability to predict mature performance from juvenile performance, has also contributed to this time lag. Results from recent research have, however, clearly

demonstrated that it is not necessary to field test for the 15 to 20 years which were previously considered as a minimum, before making selections of superior families. In many of our most important species, superior family-level selections can be confidently made after about 5 years of field testing.

Despite the encouraging results from early testing, we are still faced with the constraint of sexual maturity. This is where tissue culture can play its first big role. Remnant seed, or newly re-synthesized crosses, from the early-identified superior families can be used to begin propagating tested, genetically-improved varieties for use in reforestation programs. These genetically-improved varieties can become part of our reforestation programs in as little as 3-5 years. Although there are many additional advantages, the major advantage here is an economic gain, through a significant reduction in time.

. . . the major advantage is an economic gain, through a significant reduction in time

The second role that tissue culture can play comes in being able to exploit more of the genetic variation. This opportunity is created by an advanced tree improvement program using conventional and clonal forestry. In this case, clonal lines for field testing are produced from controlled crosses between individuals known to produce superior families. To avoid problems with aging and maturation, samples of the lines are stored at ultra-low temperatures in liquid nitrogen using cryopreservation techniques for later propagation. These techniques have been developed by Forestry Canada and the National Research Council, and are readily available for forest trees. After a field testing program, proven, genetically-elite individuals would be selected and multiplied from the cryopreserved lines. These individuals would be capturing what geneticists call "non-additive genetic variation". This superior performance occurs because of the specific combinations of genes that fortuitously come together in an individual. One can think of these elite trees as the equivalent of an Einstein. In the places where a strategy of clonal forestry is being used, production of some elite clones exceeds the selected families by more than 80%. Admittedly, this gain is not realized on every site. Nevertheless, this is clearly an impressive improvement in crop productivity due to genetic improvement.

Because seed orchards require long time commitments and relatively large blocks of land, they can create a situation where flexibility in genetic composition of genetically-improved materials is virtually impossible. This lack of flexibility in the genetics of the crop may be a real problem if climates are changing as rapidly as some models suggest. Tissue culture can directly address this problem by allowing rapid change in the genetic composition of the trees used in reforestation.

II. What are others doing?

Around the world, many other countries have tree improvement programs which are more fully developed than our current programs in Canada. These include many of our historical major competitors, and the new competition which is developing in South America and Australia. Particularly aggressive clonal forestry programs are being developed in Sweden, Brazil, and New Zealand. Our closest competitor, the United States, has significant investments in forest-tree improvement programs.

. . . many other countries have tree improvement programs which are more fully developed than our current programs in Canada

Sweden

In Sweden, Hilleshög began a program of tree improvement about 15 years ago. At the time they were the only private alternative to state produced material for reforestation programs. They therefore required a better product at the same price. One of the main differences between the private and state program was that the private operation had a clonal forestry program in Norway spruce. This was based on conventional technology of rooted cuttings. Their clonal material was certified to yield 20% more than the genetically-improved sexually produced material at rotation, and consequently sold for a premium. In the past decade, this clonally produced material has met with unprecedented success and the company cannot produce sufficient quantities to meet current demands. Despite the enormous investment in land and the labour-intensive nature of this option, clonal material now costs less to produce than conventional seed orchard material. In December 1989, Hilleshög flew a group over to Canada to investigate the possibilities of acquiring our somatic embryogenesis and cryopreservation technology.

Brazil

In Brazil, new areas of production for pulp are being developed using Eucalyptus as the crop tree. Over the past decade, they have had an extremely aggressive program of tree improvement and clonal forestry. Dramatic progress has been made in increasing yield and reducing time to harvest. Increases in the order of 100 percent in yield and a halving of the rotation age have been made since the early days of the program. All of the commercial reforestation programs for industrial purposes use only clonally produced material.

New Zealand

In New Zealand, Tasman Forest Industries has been producing tissue-cultured radiata pine for reforestation programs for the past 6 years. They are using an older technology which first induces buds, which then have to be elongated, rooted, and acclimatized in separate steps. This is a much more labour intensive, and less productive system than the somatic embryogenesis system. Nevertheless, they are expanding their current level of production from 1 million to 4 million plantlets. According to the laboratory manager, if somatic embryogenesis worked as well for the pine species as it does with our spruces, they would be using it for their production system. Many of the elite clones being propagated using this method will yield more fibre than family selections. Also of note is the fact that all seed being used in tree improvement programs has been produced from controlled pollinations. Genetic inefficiency due to contamination from wild pollen is cited as the reason.

United States

Much of the United States commercial timber production is concentrated on lands owned by private companies. Consequently, aggressive tree improvement programs have been progressing for about 25 years in most areas in the States. Cooperatives have been particularly successful, especially in the southeastern states. Virtually all the reforestation stock planted on private lands has been genetically-improved, for at least one generation.

Private forestry companies are conducting the majority of the research in this area. However, there are also programs in tissue culture in the universities. However, the effort would not be significantly greater than the effort in Canada. Yet it is interesting to note that, unlike Canada, private industry is taking the lead in the US.

Increases in the order of 100 percent in yield and a halving of the rotation age have been made since the early days of the program

III. Impediments to Implementation in Canada

Despite the potential economic and genetic advantages, virtually none of this technology has yet been integrated into provincial or private forest genetics and reforestation programs in Canada. Several impediments can be identified which contribute to this.

They include:

- **Newness of the technology**

  The most advanced and commercially attractive tissue culture systems have only emerged since 1985. Currently, this technology works well at the laboratory bench and research trial level. However, to be proven, it needs to be scaled-up to a pilot level and rigorously tested to assess the commercial potential.

About 87% of Canada's productive forest lands are owned by the provincial governments

- **The ownership and management of Canadian forests**

  About 87% of Canada's productive forest lands are owned by the provincial governments. Historically, they have assumed full responsibility for the management of these forests, including all genetics and reforestation programs. This has created a situation where the provinces have a virtual monopoly on the production and distribution of genetically-improved planting stock. Improved varieties developed in Canada typically produce between 15% to 25% more fibre than trees produced from seed collected from the wild. Incidently, these genetically-improved varieties of trees can also be expected to fix that much more carbon and produce that much more oxygen. Despite of the fact that active forest genetics programs have been in place for over 25 years in much of Canada, only a small proportion (~1%) of the more than 1 billion trees which will be planted in 1990/91 represent genetically-improved varieties. Yet it does not have to take 25 years. In fact it shouldn't. Committed conventional programs, especially when combined with the new tissue culture systems, should be able to produce commercial quantities of genetically-improved propagules for reforestation programs in as little as 5 years. Indeed, given that much is already known from existing programs this technology could have an even more immediate impact.

- **Lack of a technical infrastructure in the provinces**

  Given the current situation where the provinces have the legal responsibility for forest management, they would be the most obvious primary client for this technology. However, in general, they have neither the laboratory facilities, nor, most importantly, the qualified human resources to conduct such a program. Furthermore, there does not seem to be much interest in this technology from the provincial agencies. Both Forestry Canada and the National Research

Both Forestry Canada and the National Research Council have been attempting to transfer this technology to provincial and private agencies

Council have been attempting to transfer this technology to provincial and private agencies, but the only active interest in this point in time has been from the private sector.

IV. Potential Stakeholders

Federal Departments, Universities

Presently, the majority of expertise in somatic embryogenesis resides within federal research programs and the Universities. It is from these organizations that technology transfer will occur.

Provincial Governments and Industry

To test the operational feasibility of somatic embryogenesis technology, the provincial governments and the forest industry have the necessary mandates. Their involvement is crucial for testing the operational feasibility and eventual implementation.

V. Recommendations

It is recommended that, for the specific purpose of developing a pilot-scale demonstration of somatic embryogenesis, the NBAC;

- organize a meeting with provincial and industrial stakeholders to inform them of the opportunities and potential impact of this technology for forest regeneration,
- encourage interested parties to develop an Action Plan and to form an alliance, or similar cooperative arrangement, for the purpose of developing a pilot scale demonstration of somatic embryogenesis which would be designed to test the commercial scale feasibility of this technology.

LA BIOTECHNOLOGIE FORESTIÈRE

Une analyse effectuée par Forêts Canada

pour le

Conseil consultatif national de la biotechnologie

Forêts Canada **Canada**

CONTEXTE ET ANALYSE

1. Problèmes et possibilités dans le domaine de la régénération forestière

Dans le domaine de la biotechnologie forestière de pointe, le Canada dispose de programmes de recherche qui sont parmi les plus avancés au monde. De fait, en ce qui concerne la culture de tissus, on peut affirmer qu'il n'existe pas, dans le monde entier, de programmes dont la qualité et les répercussions sont comparables. (Voir le tableau ci-dessous). La culture de tissus -- en particulier l'évolution récente dans le domaine de l'embryogenèse somatique des conifères -- a deux rôles extrêmement importants à jouer dans la stratégie globale d'amélioration et de conservation des arbres des forêts dans le cadre de programmes de génétique forestière.

Réalisations notables :

Événement	Année	Crédit
Embryogénèse	1985	Canada, Suède
Suspension cellulaire	1988	Canada, Suède
Cryopréservation	1988	Canada, É.-U.
Protoplastes	1989	Canada
Repiquage	1989	Canada
Semences artificielles	1990	Canada

Les délais en génétique forestière; l'incidence des cultures de tissus

Dans les programmes conventionnels d'amélioration des arbres forestiers, en ce qui concerne bon nombre de conifères nordiques, les quantités commerciales de semences fournies par les vergers à graines ne sont produites qu'après environ 25 ans de mise en oeuvre d'un programme. Malgré ce délai, l'amélioration des arbres offre des avantages considérables. La plupart des programmes d'amélioration d'arbres produisent une augmentation typique de 15 à 20 % du rendement des cultures. Au Canada, la seule limitation importante à l'exploitation des avantages offerts par les programmes de reboisement a été la quantité de temps requis avant que les vergers à graines n'atteignent la maturité sexuelle. Un second problème a aussi contribué à ce délai : l'inquiétude quant à notre capacité de prévoir le rendement des vergers à graines à leur maturité, en fonction de leur rendement au stade juvénile. Toutefois, les résultats de recherches récentes ont clairement démontré qu'il n'est pas nécessaire d'effectuer des essais sur le terrain pendant 15 à 20 ans -- ce qu'on considérait auparavant comme la période minimum -- en vue de sélectionner les familles supérieures. Pour

beaucoup de nos espèces les plus importantes, on peut effectuer des sélections fiables de familles de niveau supérieur après environ cinq ans d'essais sur le terrain.

Malgré les résultats encourageants des premiers essais, nous sommes toujours confrontés à la limitation de la maturité sexuelle. C'est là que la culture de tissus peut jouer son premier grand rôle. Les semences restantes ou les croisements récemment resynthétisés à partir des familles supérieures identifiées au début peuvent permettre de commencer à propager des familles testées et génétiquement améliorées, dans le cadre de programmes de reboisement. En 3 à 5 ans seulement, on peut intégrer ces variétés génétiquement améliorées dans nos programmes de reboisement. Cela présente de nombreux avantages, mais le plus important reste le gain économique qu'apporte un considérable réduction du délai.

Le second rôle que peut jouer la culture de tissus : permettre de mieux exploiter la variation génétique. Cela est rendu possible par un programme avancé d'amélioriation des arbres, lequel utilise des techniques forestières conventionnelles et clonales. Dans ce cas, des lignées clonales destinées aux essais sur le terrain sont produites à partir de croisement contrôlés d'individus dont la capacité de produire des familles supérieures est connue. Pour éviter des problèmes reliés à l'âge et à la maturité, on entrepose des échantillons de lignées dans de l'azote liquide à très basse température, en utilisant des techniques de cryopréservation en vue de la propagation ultérieure. Ces techniques, mises au point par Forêts Canada et le Conseil national de recherches, sont aisément disponibles pour la culture des arbres forestiers. Après des essais sur le terrain, des individus dont la supériorité génétique a été prouvée sont sélectionnés et multipliés à partir des lignées cryopréservées. Ces individus capturent ce que les généticiens appellent "des variations génétiques non additives". Ce rendement supérieur est rendu possible par les combinaisons fortuites de gènes qui se produisent dans un individu. On peut considérer ces arbres d'élite comme des équivalents d'un Enstein. Dans les endroits où on utilise une stratégie de foresterie clonale, la production de certains clones supérieurs dépasse de plus de 80 % celle des familles sélectionnées. Évidemment, ces gains ne sont pas réalisés dans tous les terrains. Toutefois, cela représente clairement une amélioration impressionnante de la productivité des cultures, attribuable à l'amélioration génétique.

Comme les vergers à graines exigent des engagements à long terme et des terrains relativement étendus, cela peut créer une situation où la flexibilité dans la composition génétique de matériel génétiquement amélioré est pratiquement rendue impossible. Ce manque de flexibilité dans la composition génétique des cultures peut poser un réel problème si les climats changent aussi rapidement que le prévoient certains modèles.

La culture de tissus peut permettre de s'attaquer directement à ce problème, en permettant de modifier rapidement la composition génétique des arbres destinés au reboisement.

La biotechnologie forestière

II. Que font les autres?

À travers le monde, beaucoup d'autres pays disposent de programmes d'amélioration des arbres plus complètement développés que nos programmes actuels au Canada. Parmi eux, on compte plusieurs de nos principaux concurrents historiques ainsi que la nouvelle concurrence provenant d'Amérique du Sud et d'Australie. Des programmes de foresterie clonale particulièrement dynamiques sont en train d'être mis au point en Suède, au Brésil et en Nouvelle-Zélande. Notre principal concurrent, les États-Unis, a fait des investissements considérables dans des programmes d'amélioraiton des arbres.

... beaucoup d'autres pays disposent de programmes d'amélioration des arbres plus complètement développés que nos programmes actuels au Canada

---

Suède

En Suède, il y a environ quinze ans, Hilleshog avait lancé un programme d'amélioration des arbres. À l'époque, c'était la seule société privée qui produisait du matériel pour les programmes de reboisement -- cette activité était jusque là exclusivement réservée à l'État. Elle devait donc fournir un meilleur produit, au même prix. Une des principales différences entre son programme et celui de l'État : il s'agissait d'une exploitation privée axée sur la foresterie clonale de l'épinette de Norvège, utilisant la technique conventionnelle de boutures enracinées. La société garantissait que le rendement du matériel clonal serait de 20 % supérieur à celui du matériel génétiquement amélioré produits sexuellement par rotation, et par conséquent vendus au prix fort. Au cours de la dernière décennie, ce matériel clonal a connu un succès sans précédent et la société n'arrive pas a en produire suffisamment pour satisfaire la demande actuelle. Malgré l'énorme investissement dans les terrains et la quantité considérable de main-d'oeuvre utilisée dans le cadre de cette option, le coût de production du matériel clonal est actuellement inférieur à celui du matériel issu de vergers à graines conventionnels. En décembre 1989, un groupe de représentants de Hilleshog s'est rendu au Canada pour étudier les possibilités d'acquérir nos techniques d'embryogenèse somatique et de cryopréservation.

Brésil

Au Brésil, on commence à développer maintenant la production de pâte à papier fondée sur la culture de l'eucalyptus. Au cours de la dernière décennie, on a mis en oeuvre un programme extrêmement dynamique d'amélioration des arbres et de foresterie clonale. Des progrès remarquables ont été réalisés, en ce qui concerne l'augmentation du rendement et la réduction des délais relatifs à la récolte. Depuis le début du programme, le rendement a augmenté d'environ 100 % et la période de rotation a diminué de moitié. Tous les programmes de reboisement commerciaux axés sur l'industrie utilisent exclusivement du matériel clonal.

Nouvelle-Zélande

En Nouvelle-Zélande, au cours des 6 dernières années, Tasman Forest Industries a utilisé la culture de tissus dans la production de pins de Monterey destinés à des programmes de reboisement. Cette société utilise une technique plus ancienne, qui consiste en plusieurs étapes distinctes : les bourgeons sont d'abord produits, puis allongés, enracinés et acclimatés. Comparativement à la technique de l'embryogenèse somatique, ce système exige beaucoup plus de main-d'oeuvre et il est moins productif. Toutefois, le niveau de production de cette société va passer de un à quatre millions de plantules. D'après le directeur du laboratoire, si l'embryogenèse somatique fonctionnait aussi bien pour les espèces de pins que pour nos épinettes, sa société l'incorporerait dans son système de production. Beaucoup de clones d'élite qui sont repropagés à l'aide de cette méthode produiront plus de fibre que les sélections de familles. Mentionnons aussi que toutes les semences utilisées dans les programmes d'amélioration des arbres ont été produites à partir de pollinisations contrôlées. La raison invoquée : cela permet d'éviter l'inefficacité génétique due à la contamination par le pollen sauvage.

États-Unis

Aux États-Unis, la majeure partie de la production de bois d'oeuvre est concentrée dans des terrains appartenant à des sociétés privées. Par conséquent, des programmes dynamiques d'amélioration des arbres ont progressé pendant près de 25 ans dans la plupart des régions des États-Unis. Surtout dans les États du Sud-Est, les coopératives ont particulièrement bien réussi. Pendant au moins une génération, pratiquement tout le stock de reboisement planté dans des terrains privés a fait l'objet d'une amélioraiton génétique.

Les sociétés forestières privées effectuent la majeure partie de la recherche dans ce domaine, bien que les universités offrent aussi des programmes dans le domaine de la culture de tissus. Néanmoins, l'effort déployé dans ce sens ne serait pas notablement plus important qu'au Canada. Pourtant, il est intéressant de noter que, contrairement à la situation au Canada, c'est le secteur privé qui tient la première place aux États-Unis.

Depuis le début du programme, le rendement a augmenté d'environ 100 % et la période de rotation a diminué de moitié

III. Les obstacles à la mise en oeuvre au Canada

Malgré les avantages économiques et génétiques potentiels, pratiquement aucune de ces techniques n'a été intégrée dans les programmes privés ou provinciaux de reboisement et de génétique forestière au Canada. On peut identifier plusieurs obstacles qui contribuent à cette situation, notamment :

. La nouveauté de la technologie

C'est seulement depuis 1985 que les systèmes de culture de tissus les plus avancés et les plus commercialement attrayants ont été mis au point. Actuellement, cette technologie est efficace au niveau des essais en laboratoire et de la recherche. mais, pour l'éprouver, on doit l'appliquer au niveau des projets pilotes et procéder à des essais rigoureux pour en évaluer le potentiel économique.

Au Canada, les gouvernements provinciaux possèdent environ 87 % des terrains forestiers productifs

---

. La propriété et la gestion des forêts canadiennes

Au Canada, les gouvernements provinciaux possèdent environ 87 % des terrains forestiers productifs. Historiquement, ils ont assumé l'entière responsabilité de la gestion de ces forêts, y compris celle de tous les programmes de reboisement et d'amélioration génétique. Cela a créé une situation où les provinces disposent d'un monopole virtuel de la production et de la distribution des stocks de plants génétiquement améliorés. Typiquement, les variétés améliorées mises au point au Canada produisent 15 % à 25 % plus de fibre que les arbres issus de semences sauvages. D'autre part, on peut s'attendre à ce que ces variétés d'arbres améliorées fixent plus de carbone et produisent plus d'oxygène, dans des proportions similaires. Malgré le fait que des programmes de génétique forestière aient été mis en

oeuvre pendant plus de 25 ans dans beaucoup de régions du Canada, seulement un faible pourcentage (1 %) de plus d'un million d'arbres qui seront plantés en 1990-1991 appartiendront à des variétés génétiquement améliorées. Pourtant, il n'est pas nécessaire que cela prenne 25 ans. De fait, cela ne devrait pas se produire. Les programmes conventionnels déjà engagés, surtout lorsqu'ils sont combinés avec les nouveaux systèmes de culture de tissus, devraient être capables de produire en cinq ans seulement des quantités commerciales de propagules destinées à des programmes de reboisement. De fait, étant donné les connaissances déjà accumulées dans le cadre des programmes existants, cette technologie pourrait avoir des répercussions encore plus immédiates.

. L'absence d'infrastructure technique dans les provinces

Étant donné que, dans l'état actuel des chose, les provinces assument la responsabilité légale de la gestion des forêts, de toute évidence, celles-ci devraient constituer la principale clientèle pour cette technologie. Toutefois, en général, elles ne disposent ni des laboratoires, ni -- ce qui est plus encore plus grave -- des ressources humaines qualifiées nécessaires pour la mise en oeuvre d'un tel programme. En outre, il semble que les organismes provinciaux ne s'intéressent pas beaucoup à cette technologie. Forêts Canada et le Conseil national de recherches ont essayé de transférer cette technologie à des organismes provinciaux et privés, mais, jusqu'à présent, seul le secteur privé a manifesté de l'intérêt dans ce domaine.

Forêts Canada et le Conseil national de recherches ont essayé de transférer cette technologie à des organismes provinviaux et privés

---

IV. Participants éventuels

Ministères fédéraux, universités

Actuellement, l'essentiel du savoir-faire en embryogenèse somatique se trouve concentré dans les programmes de recherche fédéraux et les universités. C'est à partir de ces organismes que le transfert de technologie s'effectuera.

Gouvernements provinciaux et industrie

Les gouvernements provinciaux et l'industrie forestière disposent des mandats nécessaires pour vérifier la faisabilité opérationnelle de la technologie de l'embryogenèse somatique. Dans ce domaine comme dans celui de la mise en oeuvre éventuelle, leur contribution est un facteur fondamental.

V. Recommandations

Nous recommandons qu'en vue de la mise en oeuvre d'un projet pilote de démonstration de l'embryogenèse somatique, le CCNB :

- organise une rencontre avec les principaux intéressés -- les gouvernements provinciaux et l'industrie --, en vue de les informer des possibilités offertes par cette technologie et de ses éventuelles répercussions dans le secteur de la régénération forestière;

- encourage les parties intéressées à élaborer un plan d'action et à contracter une alliance, ou un accord de coopération similaire, en vue de la mise en oeuvre d'un projet pilote de démonstration de l'embryogenèse somatique destiné à vérifier la faisabilité commerciale de cette technologie.